

УДК 621.785.5

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ АМОРФІЗАЦІЇ ВІСОКОМІЦНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ Fe-B ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ АРГОНО-ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

к.ф.-м.н. М.О. Єфімов, к.ф.-м.н. К.О. Єфімова, к.т.н. О.І.Дудка<sup>1</sup>,  
студенти ІФФ гр.ФТ-31 О.Д. Хращевський<sup>1</sup>, гр. ФТ-51м В.Ю. Пулковський<sup>1</sup>

ІПМ НАН України, м. Київ, <sup>1</sup> НТУУ «КПІ», м. Київ

E-mail: [e\\_efimova@ukr.net](mailto:e_efimova@ukr.net)

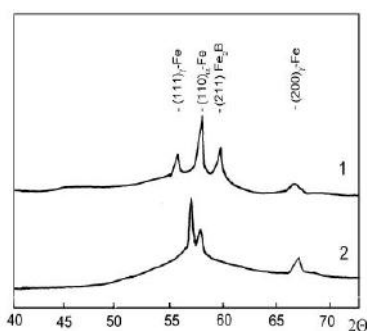
*Досліджено процеси аморфізації покриттів системи Fe-B, які отримані методом аргано-плазмового напилення газополум'яним напиленням порошку на підкладки зі сталі Ст 3. Показано, що частково аморфізовані покриття зберігають високу твердість (порядку 4 -6 ГПа) при нагріванні до 600°C.*

*The processes of amorphization the argon-plasma powder Fe-B coatings, on the substrate from steel St 3 were investigated. It is shown that partly amorphized coating retains high hardness (about 4 -6 GPa) during heated to 600°C.*

В роботі досліджено структуру та побудовано температурну залежність мікротвердості порошкових покриттів, що аморфізуються, складів 53,3 Fe-24,4 Mo-7,8 Cr-7,6 Ni-3,4 B-0,5 Si (1) та 42 Fe- 49 Ni-4,5 B-4,5 Si (2), які отримані методом аргано-плазмового напилення. Підкладкою для отримання покриттів служила низьковуглецева сталь Ст3. Метод аргано-плазмового напилення є одним з методів газотермічного напилення і полягає в нагріві матеріалу, що напилюється, високотемпературним плазмовим струменем до розплавлення, перенесення його цим потоком і подальшого формування покриття на поверхні підкладки [1-2].

Структурний стан покриттів характеризували за допомогою методики рентгеноструктурного аналізу та просвітлюючої електронної мікроскопії (ПЕМ) [3]. На рис.1 видно, що жодне з досліджених покриттів не аморфізовано повністю. Поряд з гало, що свідчить про присутність рентгеноаморфної структури, на рентгенограмах спостерігаються лінії  $\alpha$  - і  $\gamma$  - Fe, а також лінії Fe<sub>2</sub>B.

Отримані покриття носять шаруватий характер. У покритті можливе виділення структурних елементів, що виникають через різну тривалість витримки між нанесенням частинок. Розглянуті покриття - пористі. Так, в покритті 1 пористість, що визначена за співвідношенням темних і світлих ділянок на мікрофотографії, становить близько 11,5%. Пори часто витягнуті по межах між частинками.



а



б

Рис.1 а - рентгенограми з поверхні зразків із покриттями 1 і 2; б - мікроструктура покриття 1 у поперечному перерізі.

ПЕМ дослідження покриття 1 в світлому полі показало наявність в сплаві дуже дрібних виділень розміром 20-60 нм (рис. 2 а). Мінімальна селекторна діафрагма розміром близько 1 мкм, що формує мікродифракційну картину, охоплює кілька десятків таких частинок. З різних ділянок фольги, зафіксовано два види мікроелектронограм: розмите гало аморфної фази (2 кільця) в сукупності з точковими рефlekсами (рис. 2 б) і тонкі кільця, які є рефlekсами від дрібної полікристалічної фази (рис. 2 в).

У цьому випадку, найбільш яскраві кільця сформовані  $\alpha$  - Fe, менш яскраві - боридом Fe<sub>2</sub>B. Точкові рефlekси на електронограмі на рис. 2 б також відповідають боридним частинкам. Боридні частинки такого розміру, розширюють рентгенівські дифракційні лінії по закону секанса, що дає можливість оцінити їх середній розмір. Оцінка, проведена по лінії (110)  $\alpha$  - Fe (рис. 1а), дала приблизне значення  $D = 21,5$  нм, що узгоджується з рис. 2.

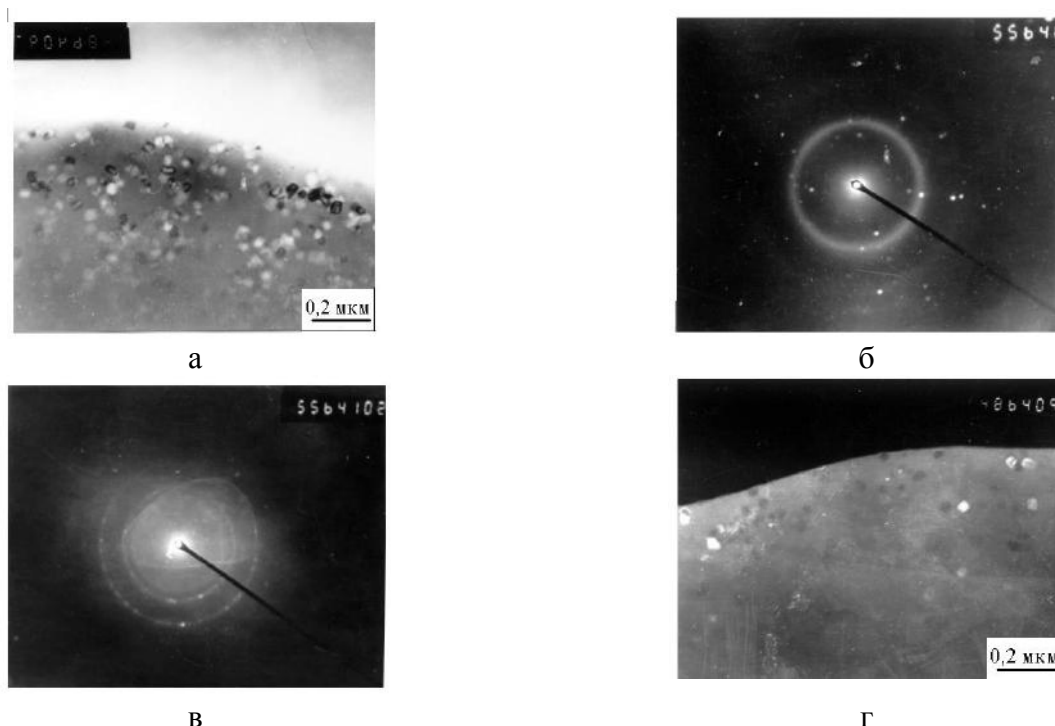


Рис. 2. Результати ПЕМ досліджень покриття 1: а - знімок в світлому полі; б, в - електронोगрами; г - знімок в темному полі.

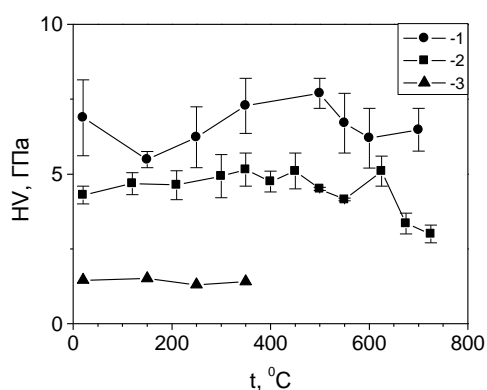


Рис. 3. Температурна залежність мікротвердості покриттів 1, 2 і сталюї підкладки 3.

Механічні властивості порошкових покриттів, що нанесені методами газотермічного напылення, характеризували значеннями мікротвердості, яку вимірювали на поперечних шліфах при кімнатній температурі і при нагріванні до 750<sup>0</sup>С. У частково аморфізованому покритті 1 (частка аморфної фази складає 20 об.%), рівень мікротвердості при кімнатній температурі досягає 7 ГПа (рис. 3). Покриття зберігає середній рівень мікротвердості, що становить 6,4 ГПа, і при нагріванні до 700<sup>0</sup>С. Таким чином, в інтервалі температур 20-700<sup>0</sup>С твердість покриття більш ніж в 4 рази перевищує твердість підкладки. Покриття 2 (частка аморфної фази досягала 16 об.%), демонструє дещо менший рівень мікротвердості. Мікротвердість цього покриття зберігається незмінною на рівні 5 ГПа при нагріванні до 630<sup>0</sup>С.

## ВИСНОВКИ

В результаті дослідження структури та побудови температурної залежності мікротвердості порошкових покриттів, що аморфізуються, показано, що частково аморфізовані покриття зберігають високу твердість (порядку 4 -6 ГПа) при нагріванні до 600<sup>0</sup>С. Таким чином, нагрів досліджених покриттів вище температури кристалізації аморфної складової супроводжується виділенням високодисперсних боридів, що сприяє збереженню високого рівня твердості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия. - Киев: Техніка, 1986. - 223 с.
2. Газопламенные покрытия системы Fe-B из порошковых проволок и гибких шнуров./ Борисов Ю.С., Коржик В.Н., Козьяков Н.А. и др. // Автомат. сварка. - 1995. - №12. - С.12-25.
3. Кристаллография, рентгенография, электронная микроскопия / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. - М.:Металлургия, 1982.-632 с.